

建築設備用銅配管の耐震強度に関する振動実験

木 内 俊 明*

An Experiment on Oscillation of Seismic Strength of Copper Pipings for Equipment of Building Systems

By Toshiaki Kiuchi*

Synopsis: In this investigation, we make fundamantal data of study of oscillation experimentation, for copper pipings systems of equipments.

In 1982, we fixed outline of guide line of sesimic strength design of equipments for buildings, including steel pipings, with out copper pipings sesimic guide line.

Then, we were performed a dyamical study of experimental copper pipings of sesimic design.

In this paper, we describe the outline of fundamental data of experimation of resonate curve, experimation of strength confirmation, experimation of random oscillation and others, and introduced difinite fundamental data of copper pipings of sesimic design for buildings.

要旨：建築設備に関する耐震設計・施工指針などが1982年頃には主要なものについては完成されたが、その中で、配管の耐震性能については主に鋼管であって、建築設備用銅配管については、十分なる耐震性能を有するといわれているものの、耐震強度実験などを通じての動的に実証された実験と基礎的資料がそろっていなかった。昭和58年夏に、6種の試験体を作り、各種の加振実験（共振実験、強度確認実験、ランダム波加振実験など）を行い、耐震性能の基礎的研究を実験を通じて行った。これらの基礎的資料を通じて、銅配管耐震設計の指針の裏付けとなった。

1. 緒 言

建物内に設けられる銅配管の耐震性の基礎的研究のため、25A、約3m長、図1に示す6種の試験体について共振試験 [$S_1=100$ gal, $S_2=1G$]、強度確認実験 [$T_1=0.6G$, $T_2=1G$]、ランダム加振実験 [エルセントロ波NS, 実加速度341.7 gal で、2階層建物屋上650 gal, 5階層建物屋上750gal, 7階層建物屋上800 gal の応答加速度入力] を行った。これらの実験により、一次共振周波数、減衰性、応答倍率、変位量、管支持・中央部継手の有無、硬ろうと軟ろう継手などの比較を含め、耐震強度の確認、銅配管耐震設計の基礎的資料などを得ようとするものである。

2. 試験概要

試験体の管材はりん脱酸銅, JIS H 3300-C1220T-H

材（タイプM）を使用し、図1に示すように形状・組合せの種別は6種であるが、ソケット継手のろう付けに対し、硬ろうと軟ろうを区別するために、計9種類となる。管内部には封水（水圧1.2 kgf/cm²）し、Uバンドあるいは吊バンドで支持させてある。試験体は十分に剛性のある架台（3000L₁×1000L₂×2000H）に取付け、架台も振動加振台に堅固に取付け加振した。

加振実験は昭和58年7月15日より同年8月13日の間、場所は筑波の建設省建築研究所内、強度試験棟で行なった中型振動台とよばれているもので、電気油圧サーボタイプのアクチュエータにより振動台を任意波形で加振することができる。台寸法は3m×4mで最大20ton 載荷時に1Gで加振する能力を有する水平一軸加振型振動台である。

振動台の主な仕様をつぎに示す。

テーブル：3m×4m、塔載荷重：最大20ton

加振器：水平方向動的±30ton・1台、水平方向一軸

油圧ポンプ：最大600 l/min、最大圧力210 kgf/cm²

*建築学科 教授

Professor, Division of Architecture

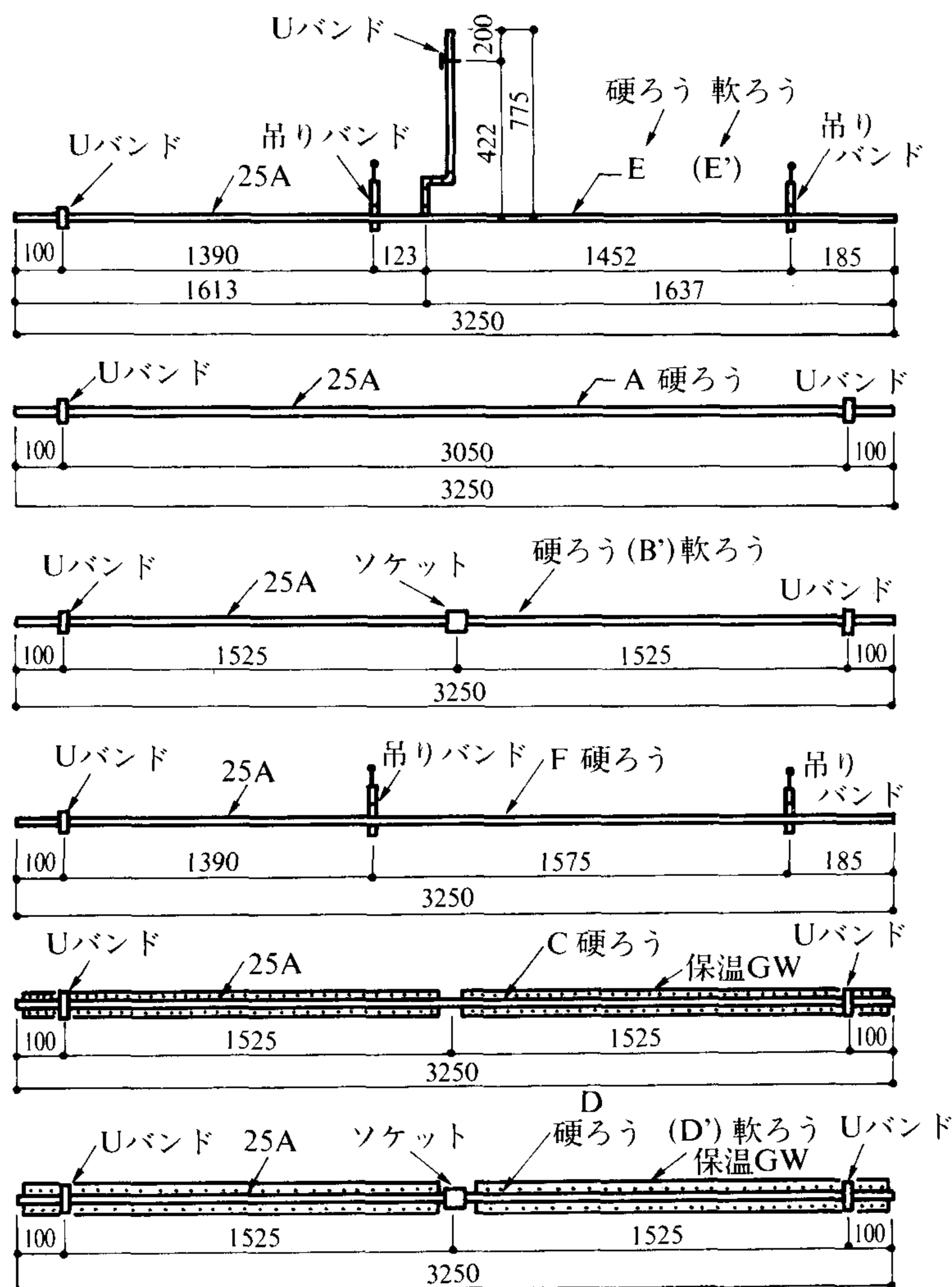
(銅管25A, 封水圧1.2kg/cm²)

図1 試験体 E (E'), A, B, (B'), F, C, D, (D')

最大振幅：水平方向±100 mm

最大速度：水平方向±75 cm/sec

最大加速度：水平方向±1.0G (20 ton 載荷時),
±3.0G (無載荷時)最大転倒モーメント：90 ton・m (ピッチングガイドを
つけた時)

振動数範囲：0～50 Hz

入力種別：定常波 (正弦波, 三角波, 矩形波), バン
ドリミテッドホワイトノイズ, 任意波形データ処理システム：Melcom 70/25 (端末機), ホス
トコンピューターMelcom 700II, システムの制御・計測取り込
み, 解析

入力：アナログ入力16 ch, 0～50 Hz

デジタル入力 MT, PTR

出力：アナログ出力4 ch

計測システム：ダイナミックデータ集録装置

動歪測定器34 ch, オートバランス方式

フィルター：ローパスフィルタ

モニター：電磁オシログラフ, ペンオシログラ
フ

3. 実験計画

(1) 計測計画

加速度計は試験体中央 (中央部は容量20G, 端部は2G), 水平方向 (加振方向) を計測した。歪度計は中央あるいは支持点近傍に歪ゲージを貼り付け, 試験体の曲げ歪及び軸方向歪を計測した。歪ゲージは曲げ計測では120Ωのゲージを管中心に対して対称に2枚貼り, 軸歪をキャンセルした上で2枚の平均値を出力するようにした。軸歪は60Ωのゲージを管中心に対して対称に2枚貼り, 曲げをキャンセルした上で軸歪のみを出力するようにした。

計測の都合上, 試験体はE, A, Bモデルのグループ, F, C, Dモデルのグループ (これらの継手部分は硬ろう付) およびE', B', D'モデルのグループ (継手部分軟ろう付) に分け, 各々を一度に架台にセットして実験を行った。最後の軟ろう付モデルグループについては, 加速度計測のみとし, 歪は計測していない。固有周波数及び応答加速度, 減衰性などに対応する硬ろう付モデルの結果と比較することとなる。

観察記録として, 各振動実験の前後および振動中に試験体の変位 (残留変位, 振動時の振幅) を観測・記録した。その他, 試験体の局部的つぶれの有無, 支持部分の状況, 水圧の変化, 水もれの有無などを記録した。

(2) 加力計画

実験は共振実験, 強度確認実験およびランダム加振実験の3種類を実施した。

① 共振実験 (テスト S₁, S₂)

正常正弦波による共振実験である。共振振動数 f_0 および減衰定数 h を得ることを目的とする。テスト S₁ では100 gal 一定で実施したのち, テスト S₂ は全ての実験の最後に振動台加速度 1G 一定して行った。

② 強度確認実験 (テスト T₁, T₂, T₃)

波形は表1に示すように, 定常正弦波の前後に立上りと減衰部分を設定した。波形はあらかじめアナログ形式で磁気テープに記録され, 振動台は外部入力制御で加振した。定常部分は約40波設けた。これらの波形はテスト S₁ で求められた共振振動数 f_0 の近傍の振動数の波形を選択し作用させた。加速度レベルとしてテスト T₁ は0.6G, テスト T₂ は1G, テスト T₃ は1G であるがモデル B, D および D' のみとし, ランダム加振実験後に行った。

③ ランダム加振実験 (テスト R)

建物内の銅配管の地震時の応答性を調べる目的で, 地

表1 強度確認実験（テストーT₁, T₂, T₃）の波形

周波数		継続時間 (sec)			
		立上り	正 常	減 衰	計
0.5Hz刻み	2Hz	5	20	5	30
	5	2	8	2	12
1Hz刻み	10	1	4	1	6

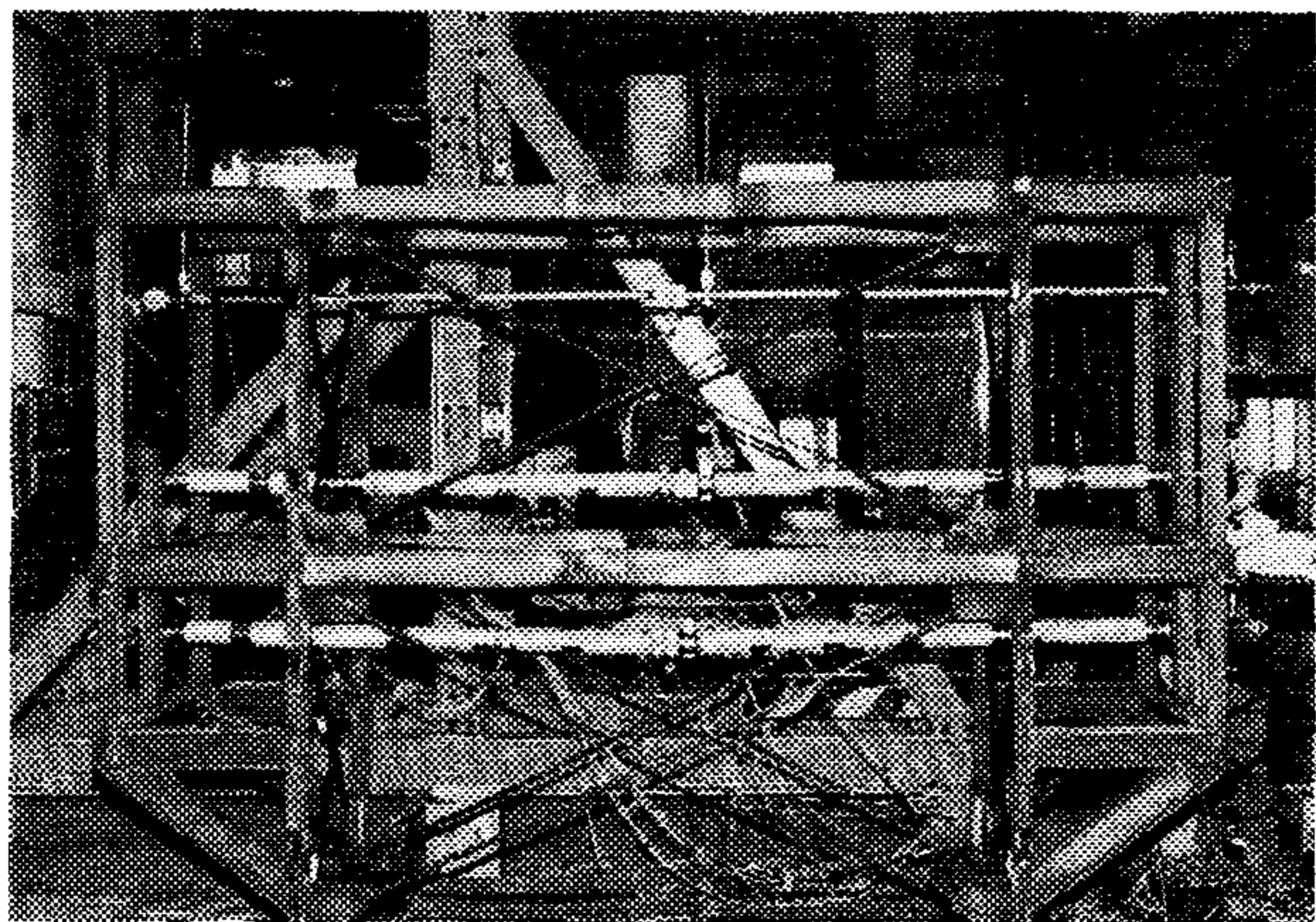
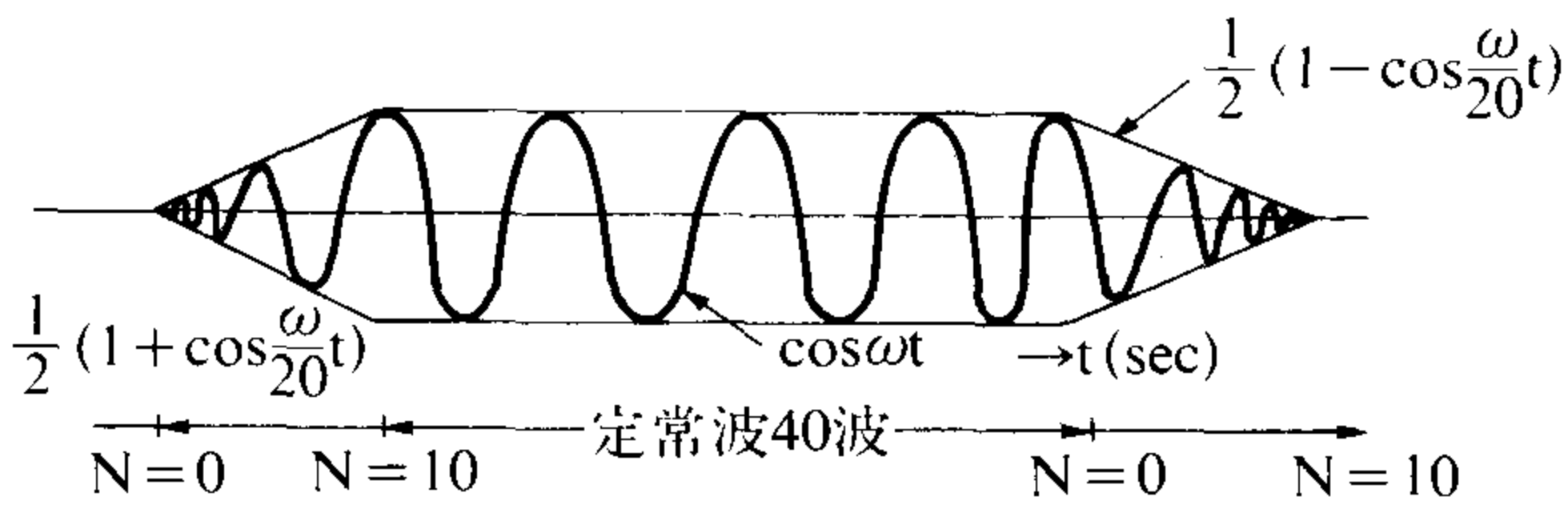


写真1 加振装置の上に銅管試験体をセットした外観

震時のフロアレスポンス波を振動台に入力する。建物のモデルとして、2階層（一次固有周期 T₁=0.2秒, 5 Hz), 5階層（同0.3秒, 3.3 Hz), および7階層（同0.4秒, 2.5 Hz) の3つを想定した。エルセントロ波1940年 NS成分（最大341.7 gal）で入力し、建物頂部の応答加速度を求める。建物は弾性、減衰定数2%とした。

建物頂部の応答最大加速度として次のようになる。

テ ス ト	建物周期	最大加速度	振動台入力加速度
R ₁	0.2(秒)	764(gal)	650(gal)
R ₂	0.3	886	750
R ₃	0.4	812	800

テストR₁とR₂については加振台変位の制約のため15%程度低減して入力した。

5. 実験結果

(1) 共振実験結果

テスト S₁ (100 gal) についての各試験体の共振曲線を図2-1~2-9に示す。いずれも明瞭な一次共振点がみられる。モデル E, F (E') については8~9 Hz 付近に二次共振点が認められる。E, F, (E') のモデル試験体は、

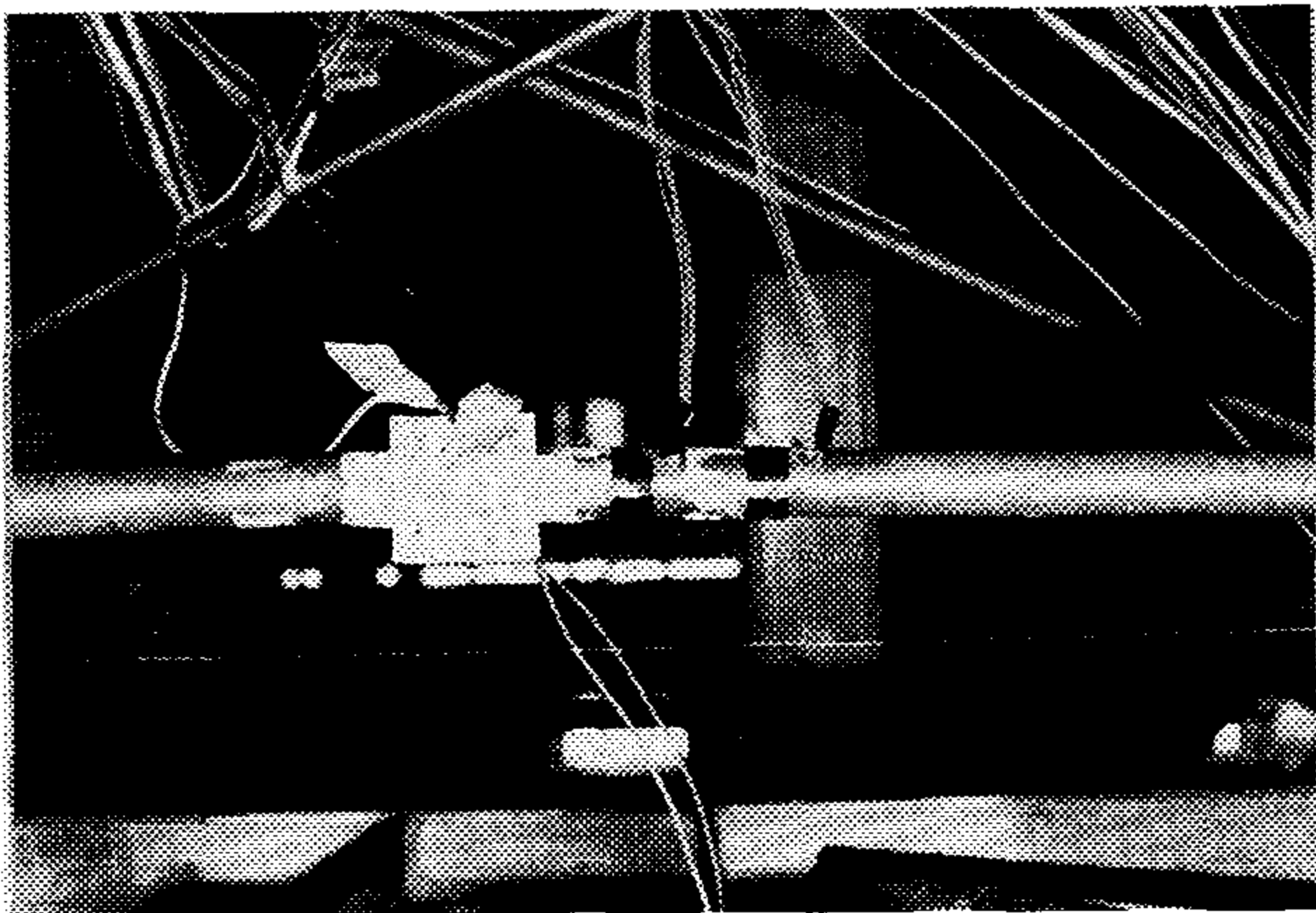


写真2 銅管試験体の部分

1 端が架台に固定され、中央および地端は剛性の低い吊りボトルにより支持されており、全体として剛性が低くなっている。これらの図から一次共振周波数、減衰定数を求めると表2のようになる。一次共振周波数はモデル E, (E') では4 Hz 程度、モデル F では3.4 Hz, その他の試験体は6 Hz 前後になっている。1/√2 法によって得られた減衰定数は最小で1.8%から最大で5.3%となっているが、算定精度はせいぜい一桁で2~5%程度の範囲にある。

振動台加速度（100 gal）に対する各試験体中央部（モデル E, F, E' については吊ボトル支持端）の加速比、すなわち応答倍率も表2に示されている。最小で約12倍（モデル B）から最大で約29倍（モデル F）の応答倍率となっている。なお、一質点系の場合は、共振点応答倍率と減衰定数の間には、 $応答倍率 = 1/(2h)$ なる関係があるので、得られた応答倍率から逆に減衰定数を計算し、減衰定数欄に（ ）内に示した。

テスト S₁ (100 gal) の結果の各モデル毎の比較を行うと、

① 硬ろう付 (E, A, B, F, C, D) と軟ろう付 (E', B', D') 継手試験の比較として、一次共振周波数、減衰定数および応答倍率について有意と認められる程の差がないといえる。

② U ボルト周辺とインシュレーションスリーパ固定の比較を行うと、すなわち、モデル A, と C, モデル B と D の比較では、モデル C, D の方が一次共振周波数が高く、減衰定数は小さく、応答倍率は高くなっており、モデル A, B に比べて固定度が上がっていることを示している。

③ 中央部継手の有無について、モデル A と B, モデル C と D を比較すると、継手のある場合（モデル B, D）の方が一次共振周波数がわずかに高く、逆に応答倍率は小さくなるという傾向にあるが、大局的には継手の有無の差はほぼ同じと判断した方が良いとみてよ

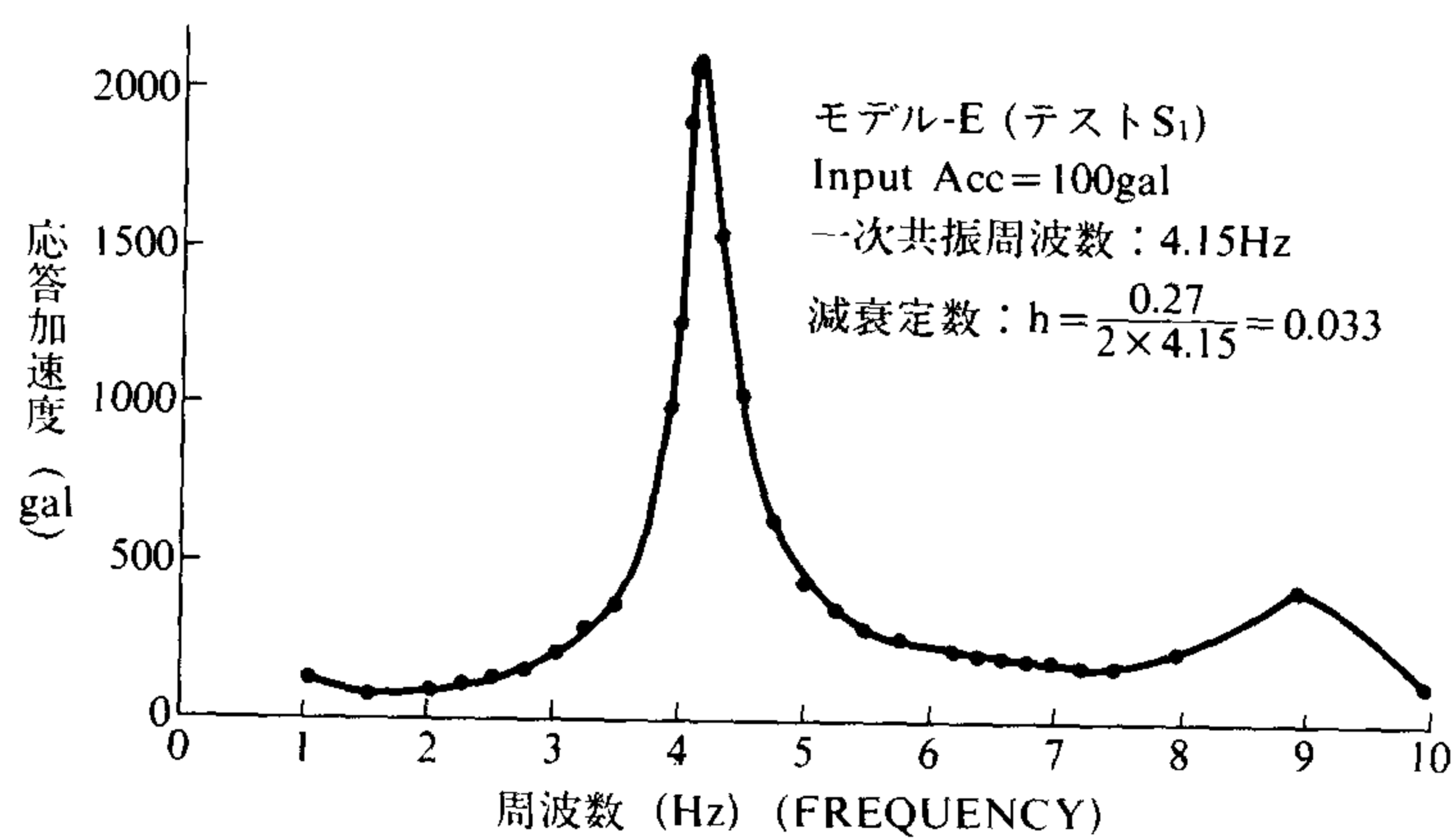


図2-1 モデル-E 共振曲線

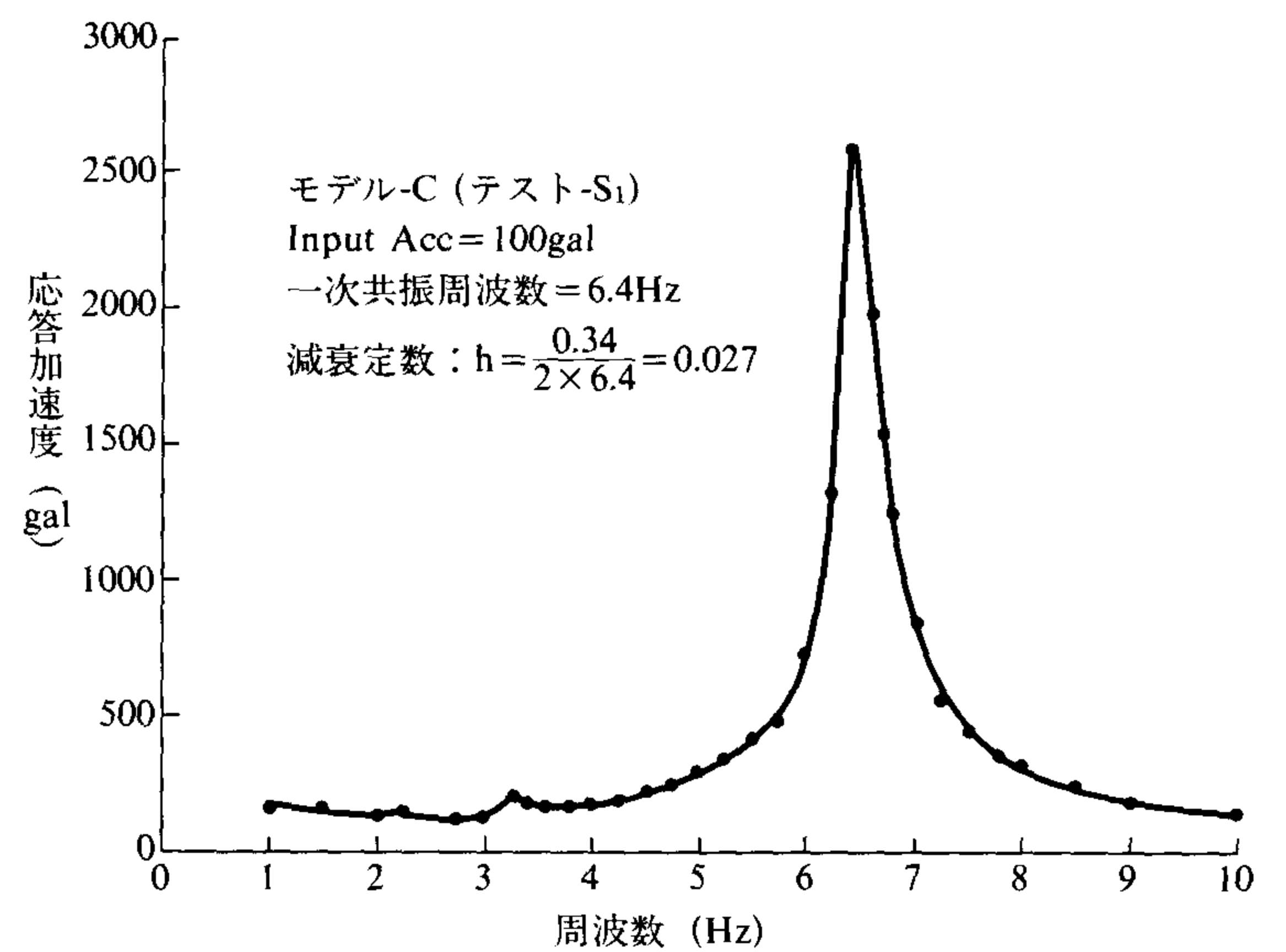


図2-5 モデル-C 共振曲線

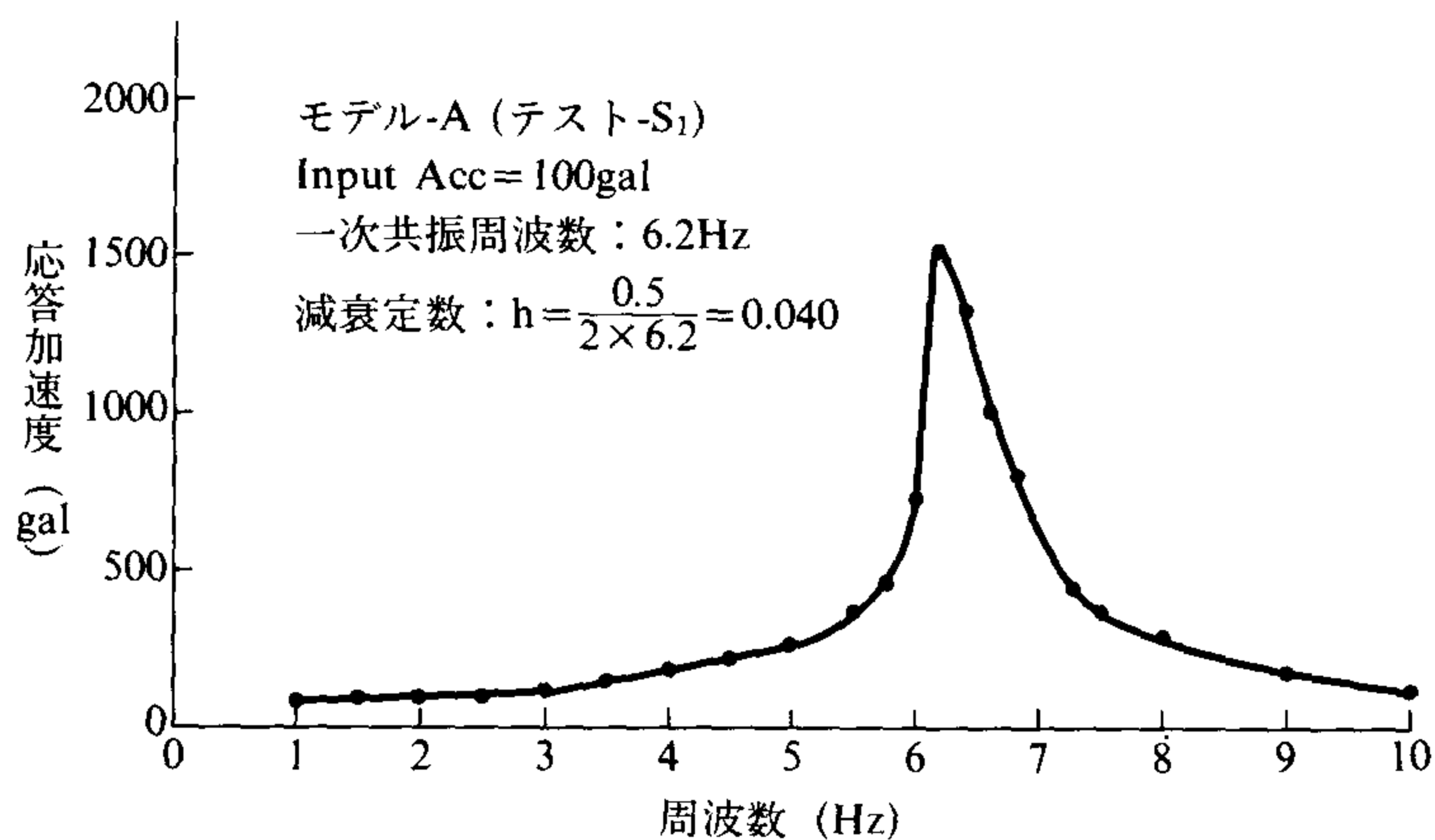


図2-2 モデル-A 共振曲線

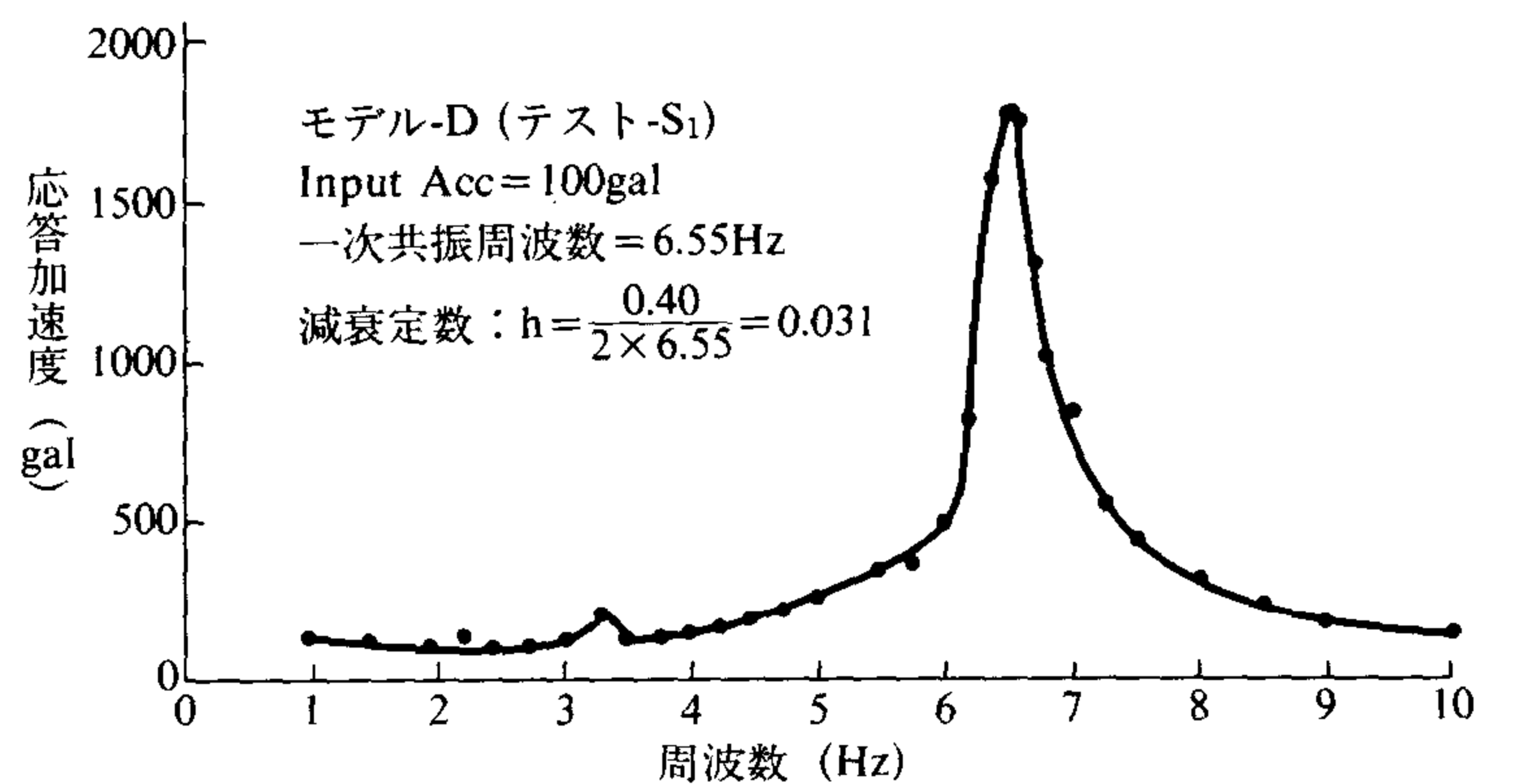


図2-6 モデル-D 共振曲線

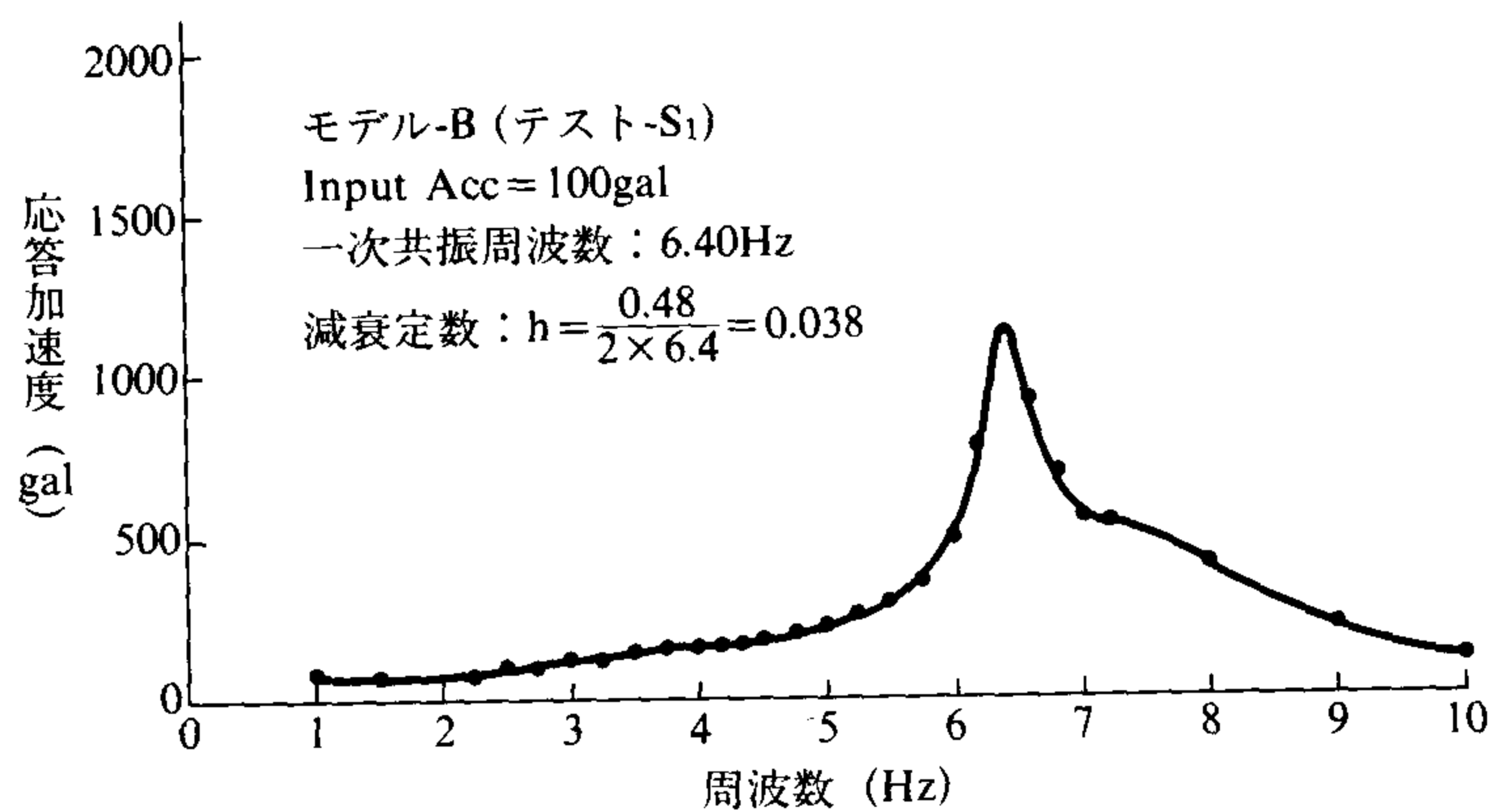


図2-3 モデル-B 共振曲線

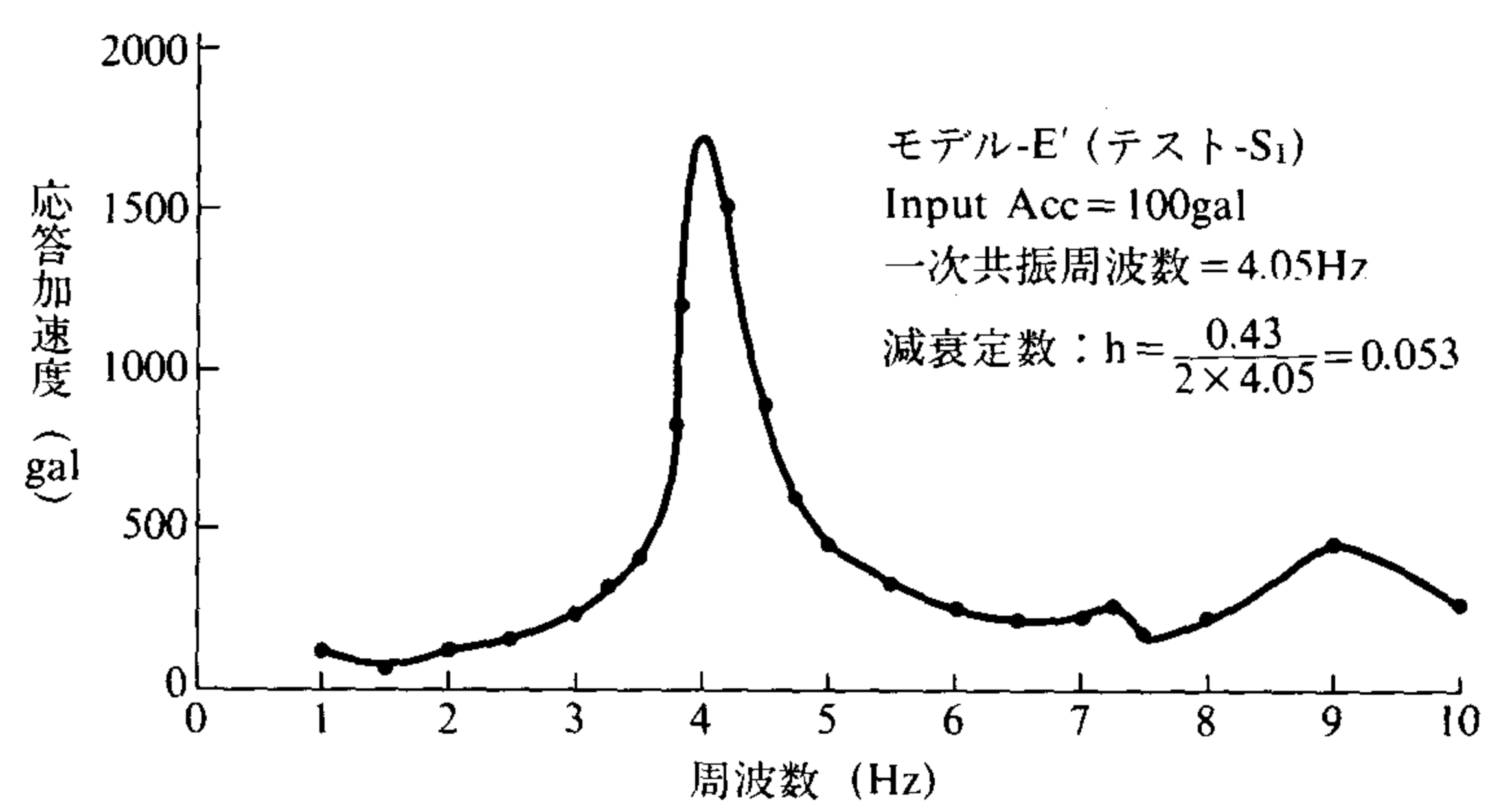


図2-7 モデル-E' 共振曲線

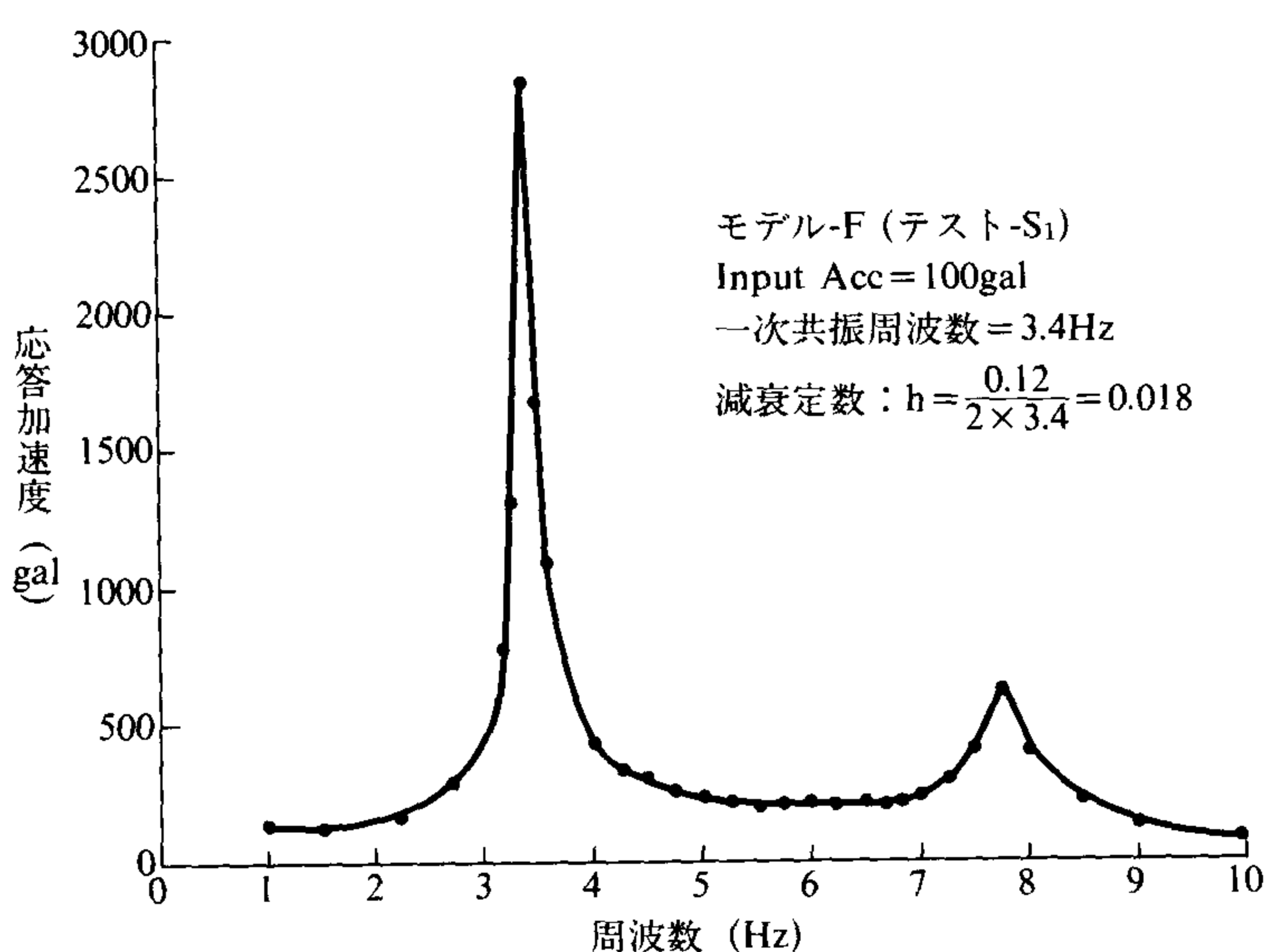


図2-4 モデル-F 共振曲線

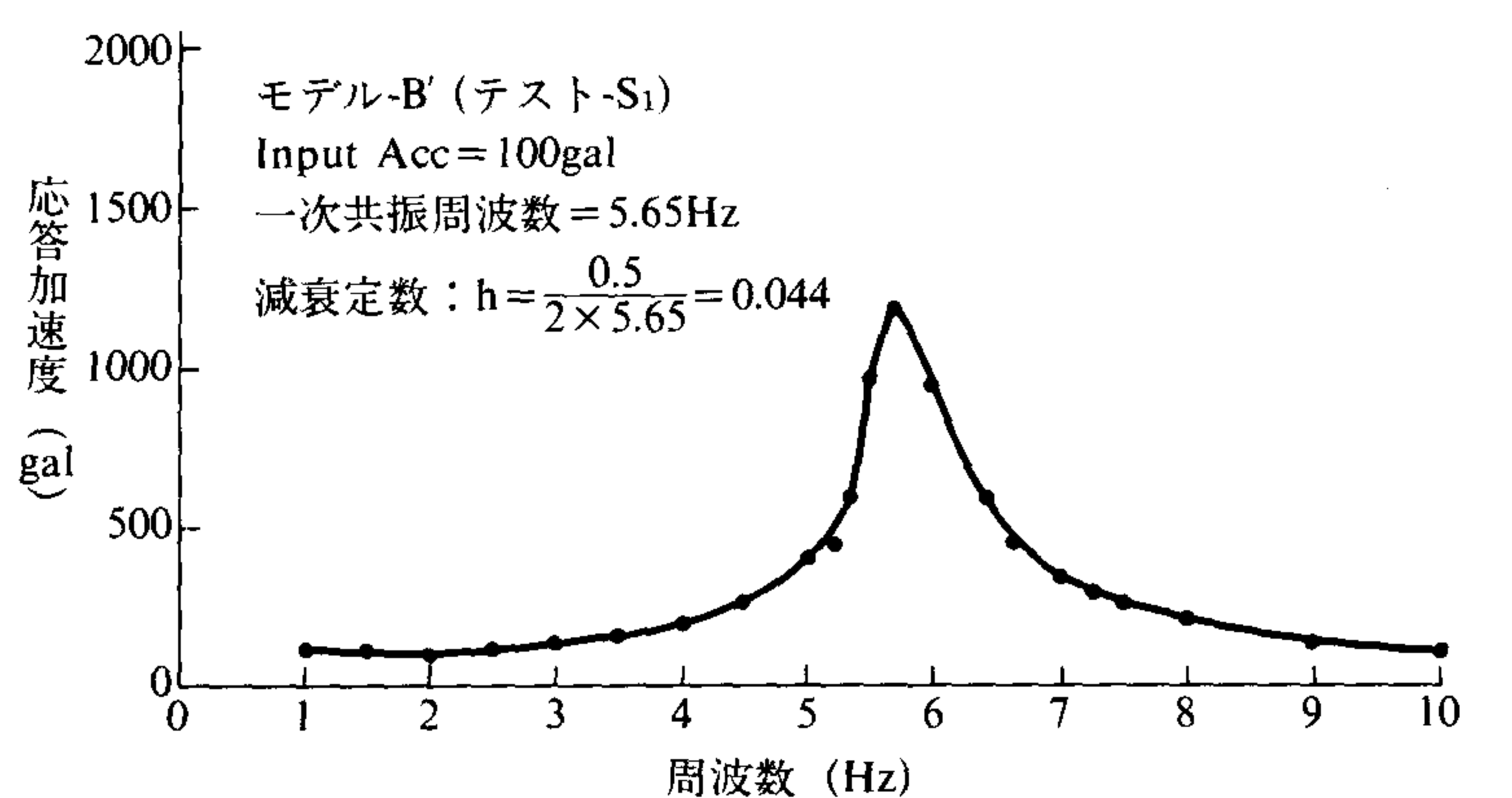


図2-8 モデル-B' 共振曲線

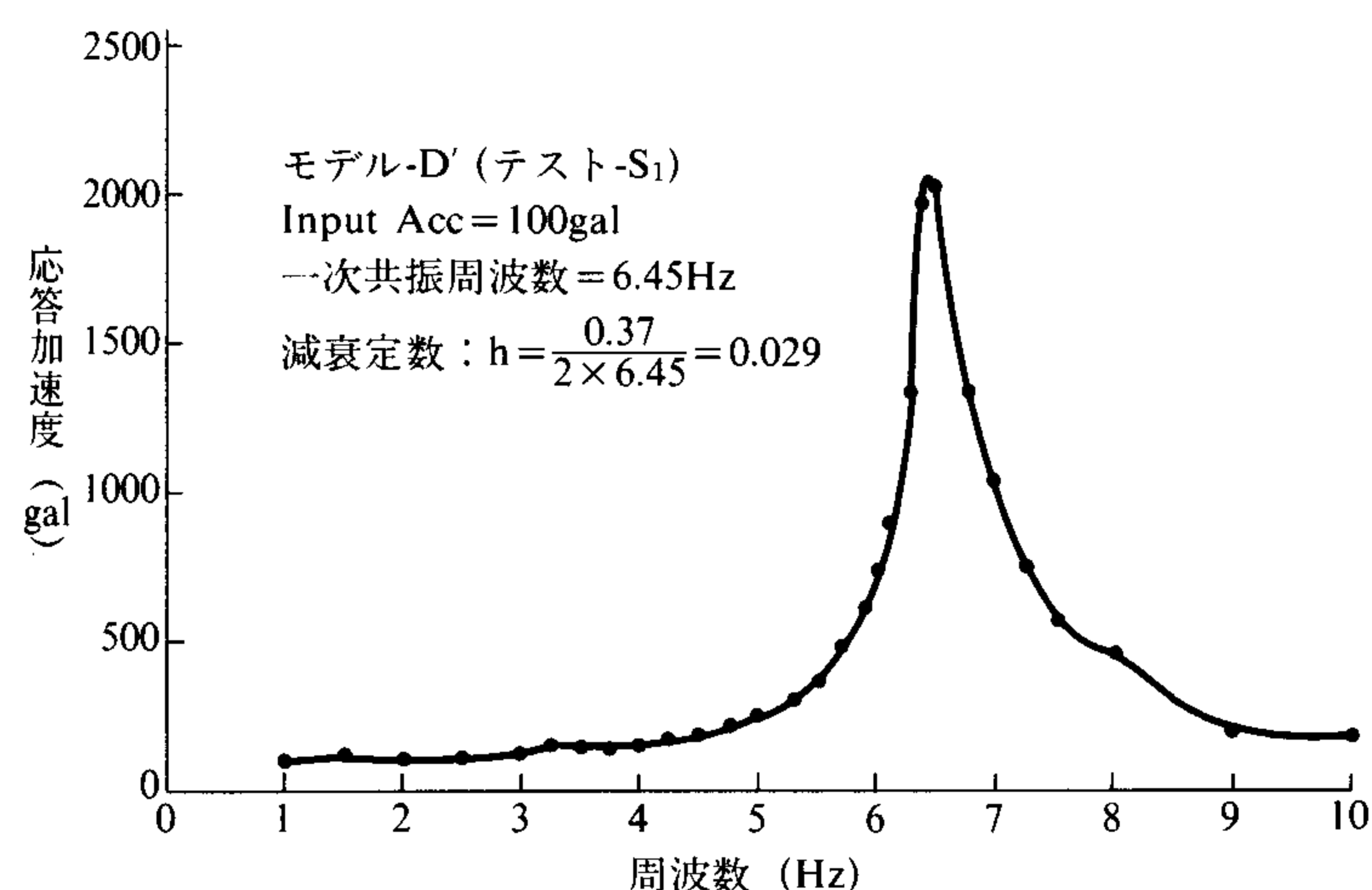


図2-9 モデル-D' 共振曲線

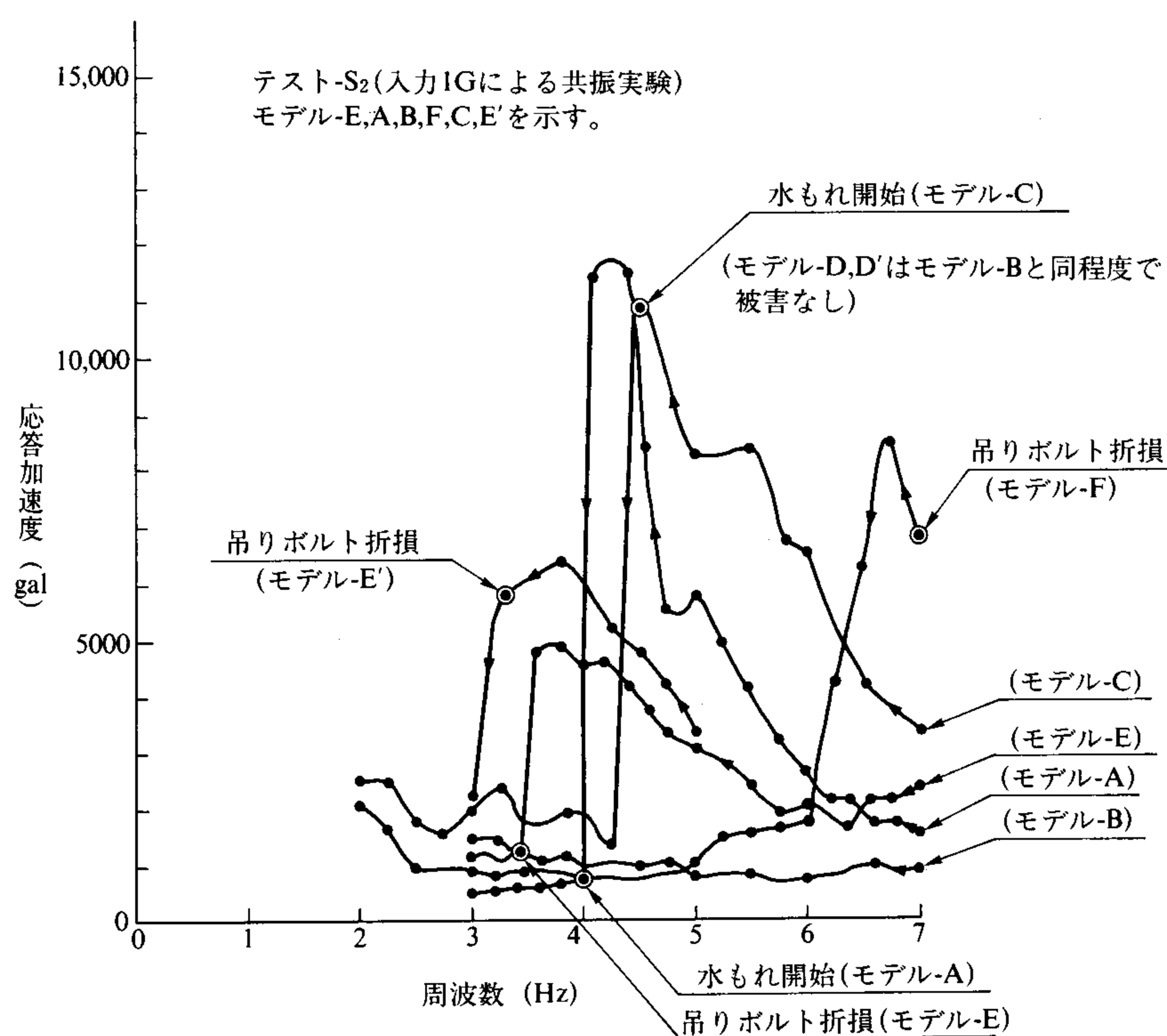


図3 入力1Gにおける共振曲線

い。

テスト S₂ (1G 加振) の共振実験結果を図3に示す。実験は7 Hz から始めて、順次振動数を低下させ3 Hz まで行った。実験中に、つぎに示すように、端部吊りボルトの折損あるいは試験体中央部の折損に至り、共振曲線とよべるような結果は得られなかった。

端部吊りボルトの折損周波数としてモデル E では3.4 Hz, F では7.0 Hz, E' では3.25 Hz であった。試験体の中央部の折損周波数ではモデル A では4.0 Hz, C では4.5 Hz であった。

モデル B, D, D' ではその中央部を短い(比較的剛性が高い)吊りボルトで支持したので、ほとんど増幅せず、振動台の動きにほぼ近くなっている。表2に図から読みとれる値を示した。

モデル E, E' については共振点を過ぎてから吊りボルトが折損したが、その共振点がほぼ3.8 Hz 付近になっている。その時の応答倍率は5~6.5で、これから換算される減衰定数は8~10%となった。テスト S₁ の結果と対比すると、共振点がやや低下し、減衰定数が2倍程度大きくなっていることがわかる。

(2) 強度確認実験結果

① 応答加速度：テスト T₁ (0.6G) とテスト T₂ (1G) の入力に対する応答加速度の関係をみると、T₁→T₂ の変化がほぼ同じ直線関係にあるもの、軟化型(上に凸のもの)および硬化型(下に凸のもの)に分けられる。これらは周波数によって特性が異なることがわかる。入力加速度と応答加速度の関係を支配する要因を

表2 共振実験結果

ろう付種別	試験体	テスト-S ₁ (100 gal 入力)			テスト-S ₂ (1 G 入力)		
		共振周波数 f ₀	減衰定数 h	応答倍率	共振周波数 f ₀	減衰定数 h	応答倍率
硬 ろ う	E	4.15 Hz	3.3%(2.3)* ¹	21.6	3.8 Hz	(10.0)	5
	A	6.20	4.0 (3.4)	14.9	—	—	>11.5
	B	6.40	3.8 (4.3)	11.7	—	—	1.4* ²
	F	3.40	1.8 (1.8)	28.4	—	—	—
	C	6.40	2.7 (1.9)	26.6	—	—	>11.
	D	6.55	3.1 (2.8)	17.8	—	—	2* ²
軟 ろ う	E'	4.05	5.3 (2.8)	17.6	3.75	(7.7)	6.5
	B'	5.65	4.4 (3.8)	13.0	—	—	—
	D'	6.45	2.9 (2.4)	20.8	—	—	1.4* ²

*¹ 減衰定数欄の()内の値は応答率=1/2 h より算定した値すなわち h=(2×応答倍率)⁻¹

*² テスト-S₂ の時, B, D, D' 材は中央を短い吊りボルトで支持したので, テスト S₁ と同じ条件の試験体ではない。

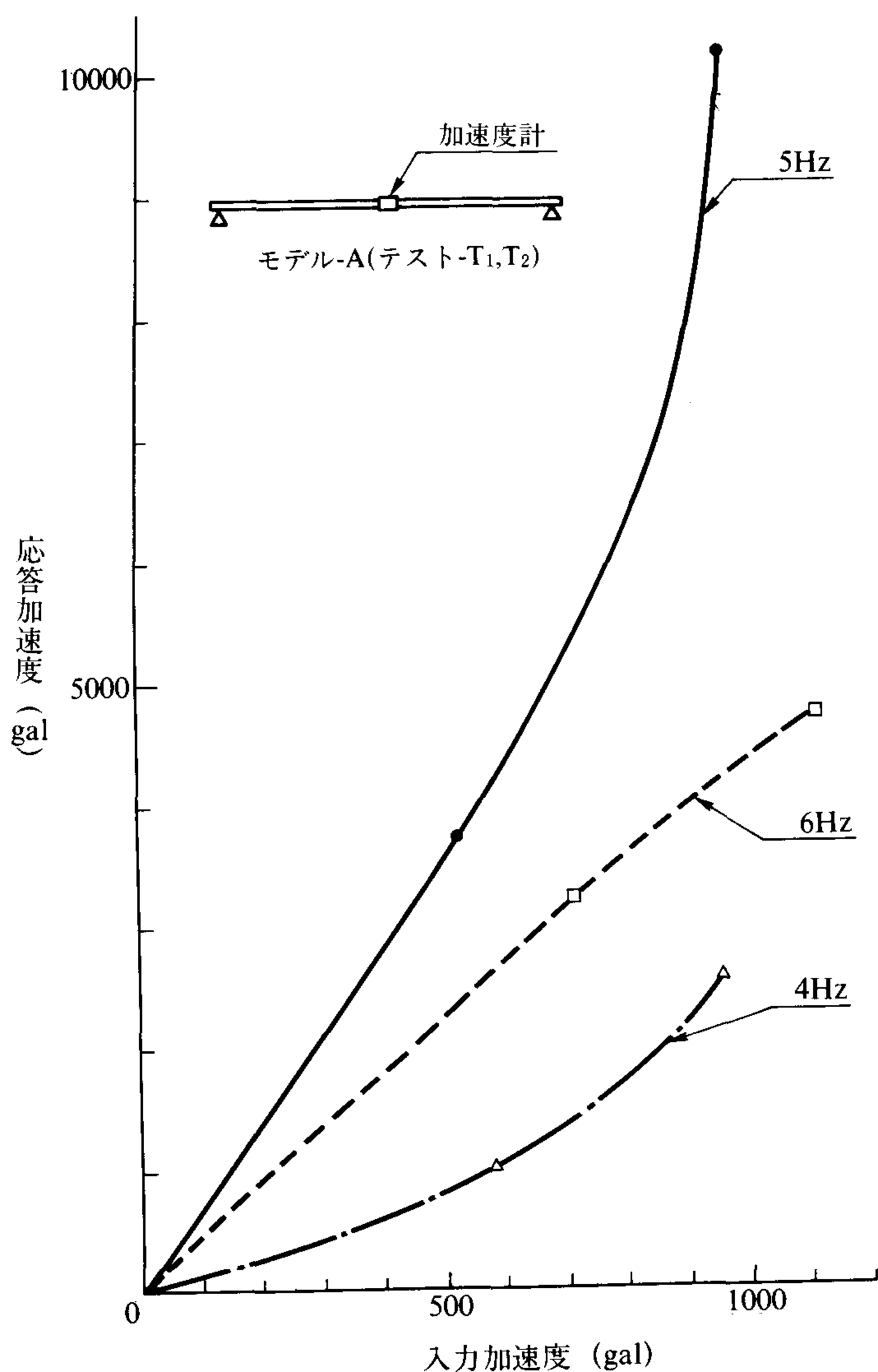


図4-1 強度確認実験における応答加速度
(モデル-A)

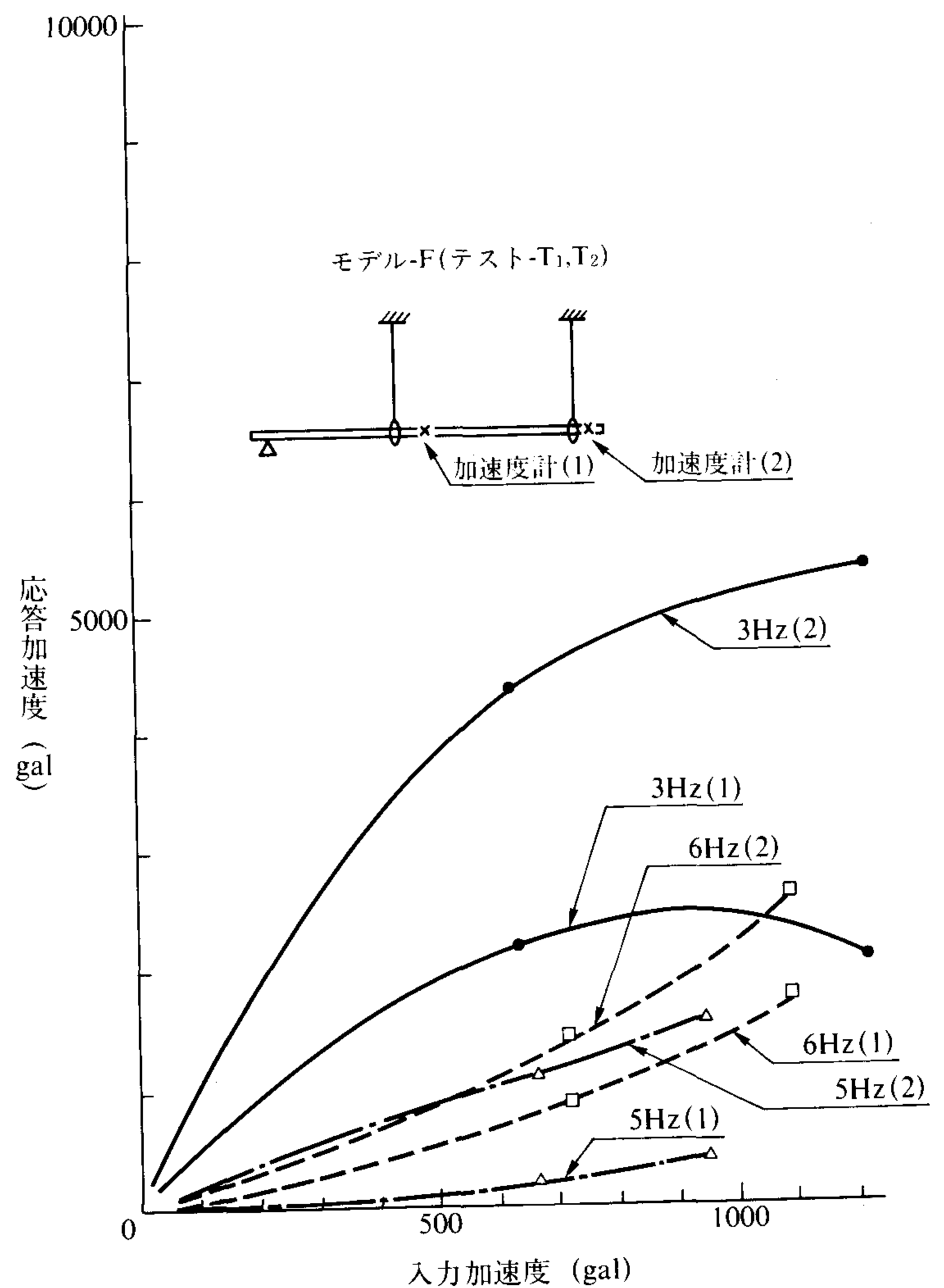


図4-3 強度確認実験における応答加速度
(モデル-F)

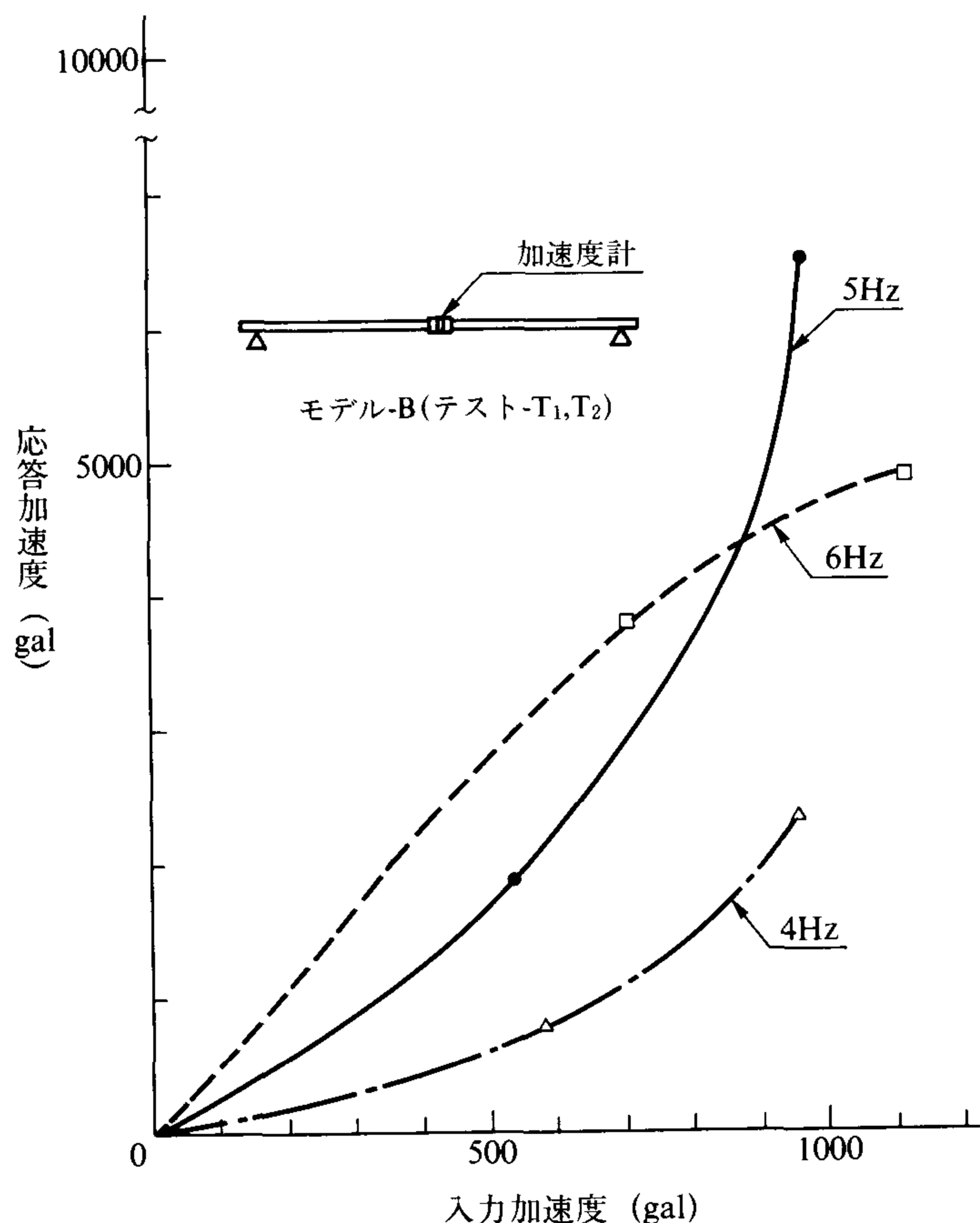


図4-2 強度確認実験における応答加速度
(モデル-B)

あげると、

- i 試験体の材料特性
- ii 固定部および支持材の非線形性
- iii 継手部分の特性
- iv 入力周波数

上記の i ii iii が複雑に関係し合うことで試験体の動特性（入力波のレベルの関係）が決り、さらにその動特性と iv の入力波の周波数との関係によって応答加速度が変化するとみる。すなわち、一般に、試験体あるいは継手部分が塑性化したり、固定部分の固定度が落ちれば、固有振動数は低くなる。固有振動数が入力波の振動数に近づけば、共振状態になって応答加速度は増大し、硬化型の傾向を示す。固有振動数が低下し過ぎて、入力振動数よりもさらに低くなると応答加速度は減少し、軟化型の傾向を示す場合もあるとみられよう。図4-1～4-3にモデル-A, B, Fを示す。

テスト T_1 , T_2 を通じて、最大加速度応答倍率は 5 ～ 12 倍であるが、平均値的にみると 10 倍程度と考えられる。

表3 強度確認実験，最大加速度応答率

試験体	テスト-T ₁	テスト-T ₂	T ₁ →T ₂ 変化
E	6.5(4 Hz)	4.9(4 Hz)	↘
A	6.8(5 Hz)	9.9(5 Hz)	↗
B	5.3(6 Hz)	6.7(5 Hz)	→
F	7.1(3 Hz)	4.2(3 Hz)	↘
C	8.3(6 Hz)	8.5(5 Hz)	→
D	9.8(6 Hz)	8.3(6 Hz)	↘
E'	8.5(4 Hz)	6.2(4 Hz)	↘
B'	10.0(5 Hz)	12.3(5 Hz)	↗
D'	7.0(6 Hz)	6.1(5 Hz)	→

表5 強度確認実験，最大変位 (cm)

試験体	テスト-T ₁	テスト-T ₂
E	5.9(4 Hz)	8.9(4 Hz)
A	3.0(5 Hz)	8.6(5 Hz)
B	2.6(6 Hz)	5.5(5 Hz)
F	12.7(3 Hz)	18.3(3 Hz)
C	3.7(6 Hz)	7.7(5 Hz)
D	5.0(6 Hz)	6.3(6 Hz)
E'	8.3(4 Hz)	9.3(4 Hz)
B'	5.4(5 Hz)	10.9(5 Hz)
D'	3.9(6 Hz)	4.9(5 Hz)

表4 振動数と変位 (cm)

試験体	振動数	テスト-T ₁	テスト-T ₂
E	4 Hz	5.9	8.9
	5	2.4	4.1
	6	1.3	2.4
F	3	12.7	18.3
	5	0.5	2.8
	6	0.9	2.6
E'	4	8.3	9.3
	5	2.7	4.4
	6	1.5	2.0

表6 強度確認実験，最大歪度 (×10⁻⁶)(μ)

試験体	テスト-T ₁		テスト-T ₂	
	最大歪度	部位	最大歪度	部位
E	192(4 Hz)	1M	241(4 Hz)	1M
A	558(5 Hz)	1M	1588(5 Hz)	1M
B	804(6 Hz)	1M	1551(6 Hz)	1M
F	227(3 Hz)	2M	320(6 Hz)	1M
C	949(6 Hz)	1M	1428(6 Hz)	1M
D	1404(6 Hz)	1M	2112(6 Hz)	1M

1M は中央，2M は左端

㊤ 変位：加速度計の記録から，波形が正弦波であるとして，変位＝加速度/(2πf)²，によって算出したものである。これを表4に示す。この時の加速度の値は，測定点の絶対加速度値そのものでなく，振動台の加速度を差し引いた相対加速度波の振幅を採用した。

加速度の場合とは異なり，いずれの試験体についても，テスト T₁ の場合よりもテスト T₂ の場合の変位が大となっている。最大変位を与える振動数をテスト T₁ と T₂ について比較すると，両者は等しい場合が多いが，T₂ の方が低くなっている場合（モデル B, C, D'）もある。

㊦ 試験体各部の歪度：応力加速度の場合と同様に，入力加速度に対して応答歪度が直線関係にあるもの，上に凸であるもの，下に凸の傾向であるものなど各種である。これらから各試験体に生じた最大歪度を取り出すと表6となる。

最大歪度はモデル F のテスト T₁ の場合を除き，試験体中央部分に生じている。すなわち，一端固定では，中央および他端吊りボルト支持部分，また両端固定モデルで

はスパンの中央部分で歪度が最大となっている。モデル F のテスト T₁ については固定端で最大歪度を生じている。

(3) ランダム加振実験結果

ランダム加振による応答加速度を読みとり，これを表7に示す。表中の（ ）内の値は入力波加速度に対する応答倍率である。モデル E, F, E' 材のように中央部および一端が吊りボルト支持の場合，支持端で4～4.4G（5～6倍）の加速度を有する。その他では中央部で2G程度（3倍程度）となっている。ランダム波の種類によって応答が異っているが，ランダム波がある周期をもった建物のフロアレスポンス波であり，必然的にそれぞれの建物の周期を強く反映した波となっているために，この周期と各試験体周期の関係で応答が変化している。建物のもつ振動数と配管系のもつ一次共振周波数が近い場合（モデル F，テスト R₂）では4.4G（5.9倍）と最大応答を示している。

6. 試験体の観察

各テスト毎の試験体の状況を観察し，記録（ここでは

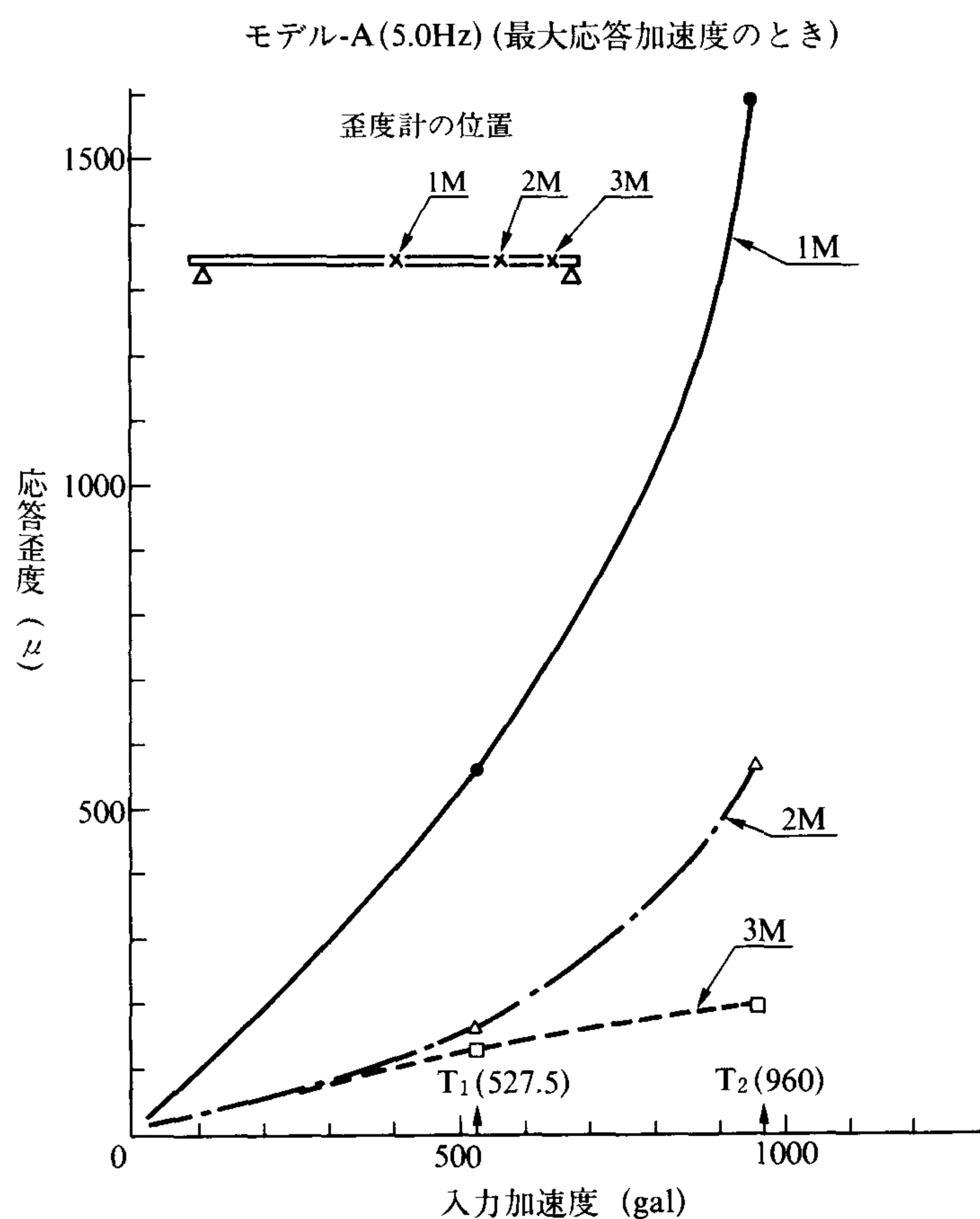


図5-1 強度確認実験における応答歪度 (モデル-A)

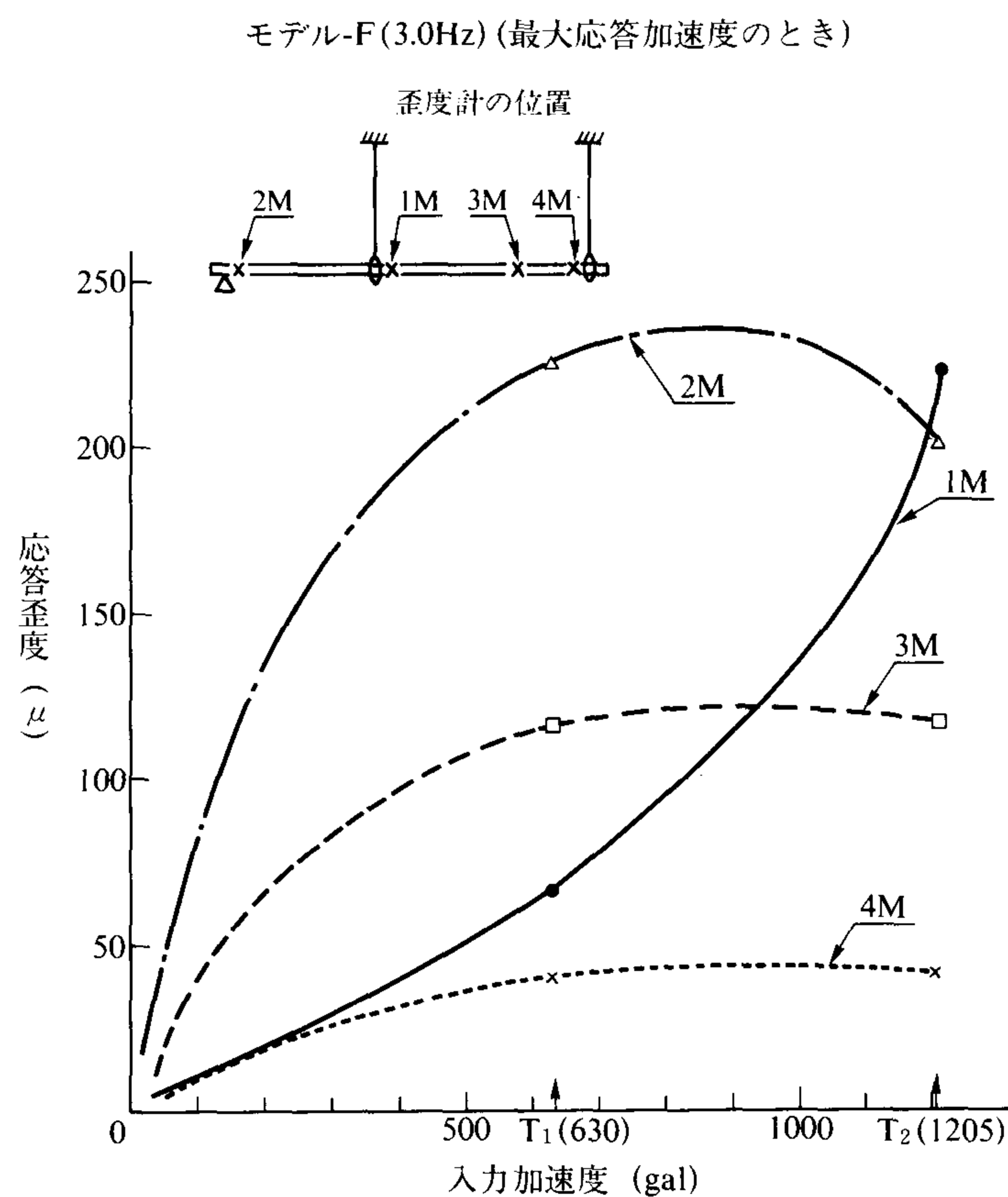


図5-3 強度確認実験における応答歪度 (モデル-F)

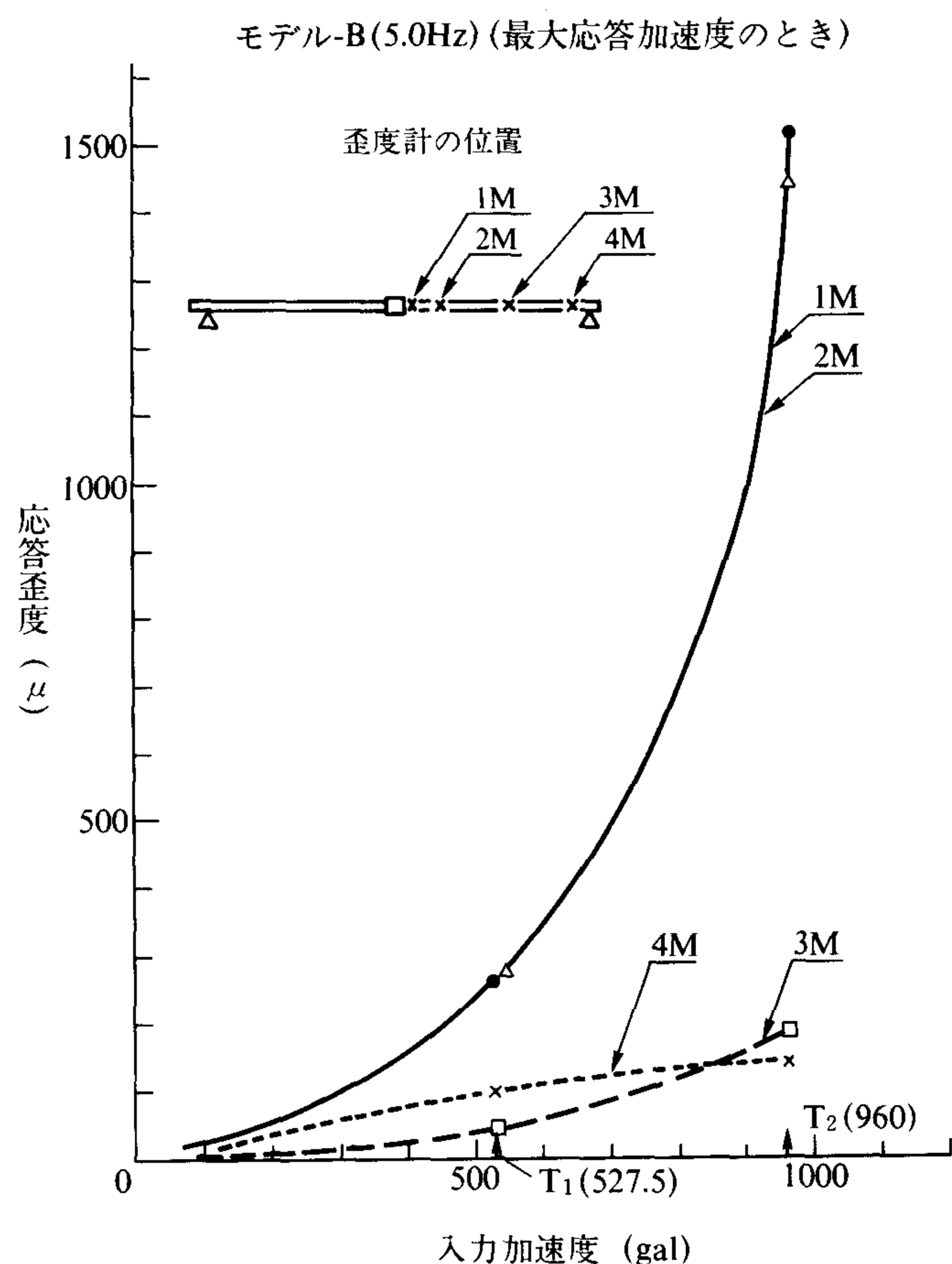


図5-2 強度確認実験における応答歪度 (モデル-B)

表7 ランダム加振実験加速度 (最大), (応答倍率)

試験体	位置	テスト-R ₁	テスト-R ₂	テスト-R ₃
E	中央	—	1.9G(2.5)	1.4G(1.8)
	端部	—	3.6G(4.8)	2.2G(2.8)
A	中央	—	1.8G(2.4)	1.8G(2.3)
B	中央	—	1.3G(1.7)	1.4G(1.8)
F	中央	1.2G(1.8)	2.0G(2.9)	2.3G(2.9)
	端部	3.0G(4.6)	4.4G(5.9)	3.0G(3.8)
C	中央	1.9G(2.9)	1.3G(1.7)	1.8G(2.3)
D	中央	2.0G(3.1)	1.2G(1.6)	1.8G(2.3)
E'	中央	1.3G(2.0)	1.8G(2.3)	1.6G(1.9)
	端部	3.9G(6.0)	4.0G(5.3)	2.0G(2.5)
B'	中央	1.4G(2.2)	1.2G(1.6)	2.0G(2.5)
D'	中央	1.8G(2.8)	1.4G(1.9)	1.9G(2.3)
入力波		0.65G	0.75G	0.80G

(注) 入力波は El Centro NS 波 (1940, 0.34G) に対するフロアレスポンス波, テスト-R₁, R₂, R₃ に対し次の固有周期の建物を想定した。R₁: T=0.2 秒 (5 Hz) 2 層, RF, R₂: T=0.3 秒 (3.3Hz) 5 層, RF, R₃: T=0.4 秒 (2.5Hz) 7 層, RF。

省略)したが、ここでは特徴的記事を述べる。

① 水もれ、折損：テスト S_2 , 4 Hz 近辺で、モデル A, C において試験体の中央部に水もれが生じ、直後に水もれ箇所折損した。折損に至るまでに両端固定部分のゆるみが進行し、大振幅の多数回の繰返し荷重をうけ、疲労による折損と思われる。

② 吊りボルトの折損：テスト T_2 (1G 共振実験) において、モデル E, F, E' の吊りボルトが折損した。多数回の繰返し荷重をうけており、疲労による折損と思われる。

③ 試験体の変形：モデル B, D では実験の度に、試験体中央部が徐々に下り、テスト T_2 終了ではモデル B で約 30 mm, モデル D では約 50 mm まで変形した。

7. 結 び

① テスト T_1 (強度確認実験) でモデル B, C, D 材の中央部で 1000μ 歪度を越えたが、他のモデルでは最大でも 500μ 以下であった。テスト T_2 でも、モデル A, B, C の端部で 1500μ を越える歪度を記録したが、水もれ、支持金具の破損、その他配管に重大な支障をきたす事態には至らなかった。

② テスト R (ランダム波実験) では加速度のみ計測したが、 $0.65\sim 0.8G$ のフロアレスポンス波に対して、モデル E, F, E' のように、一端固定、他端吊りボルト支持の場合、支持端部で、 $4\sim 4.4G$ (応答倍率で $5\sim 6$ 倍) を記録したが、他の両端固定モデル材では $2G$ 程度 (応答倍率 3 倍程度) であった。これらの実験においては試験体には何らの異常が認められなかった。

③ 水もれ、吊りボルト折損などはテスト S_2 (1G 共振実験) の時であり、いずれもその時点までに多数の繰返し荷重をうけたためで疲労による結果と考えられる。実際の地震では、このような多数回の繰返しは有り得ないことである。

④ 銅配管の耐震性について、ランダム波実験 ($3G$, $4.4G$, $3G$)、強度確認実験 (T_1 , T_2) など過酷な実験にかかわらず、水もれ、折損、その他の障害を生じなかったことから、銅配管システムとして、耐震性には全く問題がないと判断できる。今回の実験で行った配管系の支点距離が現実には布設されているものに比べ、より長い支

点距離であったことを考えると、実験の配管系においてもさらに耐震上の安全性が高いとみることができる。

謝辞：本実験は(株)日本銅センターに設けられた「建築配管用銅管耐震技術委員会」(委員長：谷資信早稲田大学教授、副委員長：筆者)において耐震性確認の基礎資料を求めるために行ったものである。

本報告に当り、谷資信、折原明男(日建設計設備部長) 藤田隆史(東京大学助教授) 北川良和(建研・振動室室長)、山崎裕(建研・施工室室長)、桜井譲彌(早稲田大学教授)、岡本章(鹿島建設)、萩原弘道(大成建設)、池本弘(大気社)その他多くの委員などから種々の助言、指導を頂いた。ここに謝意を表するものである。これら実験を通じて、「建築設備用銅配管耐震設計・施工指針」が昭和59年7月にでき上り、日本建築センター発行の「建築設備耐震設計・施工指針・1984年版」(建設省住宅局建築指導課監修)にも前述の指針が折込まれた。

(原稿受付 昭和59年10月1日)

参 考 文 献

- 1) 中野 隆：配管の耐震設計の基本事項，建築設備と配管工事240, 19-9 (昭56-8増刊号)。
- 2) 木内俊明：配管ダクトの耐震設計方法，第12回建築設備技術会議，日本能率協会・日本建築設備士協会。
- 3) 木内・岡本：鋼管ねじ・溶接継手の引張及び曲げ強度に関する実験報告，空衛工学会学術講演論文集 (昭55-10)。
- 4) 日本建築センター：建築設備耐震設計施工指針1984年版，(昭59-8)。
- 5) 萩原弘道：配管の耐震計画“配管の支持法と防振”日本建築設備士協会 (昭52)。
- 6) 日本内燃力発電設備協会：自家用発電設備設計のガイドライン (昭56-3)。
- 7) 空気調和・衛生工学会設備耐震設計委員会：建築設備耐震設計指針(案)，空衛工学会誌55-4, 5 (昭56-4, 5)。
- 8) 日本銅センター銅配管耐震設計委員会：建築設備用銅配管耐震設計・施工指針，(昭59-10)。
- 9) 木内・折原：建築設備用銅配管の耐震強度に関する実験的研究，空衛工学会学術論文集 (昭59-10)。
- 10) 関谷三郎・吉木他：建築配管用銅管の機械的特性，材料試験技術 Vol. 29 No. 3 (昭59-7)。